



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 142 752**

⑫ Número de solicitud: 009800744

⑬ Int. Cl.⁶: G02B 3/04

⑭

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑮ Fecha de presentación: **07.04.1998**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **16.04.2000**

⑰ Fecha de publicación del folleto de la solicitud: **16.04.2000**

⑱ Solicitante/s:
Universidad Politécnica de Madrid
Ramiro de Maeztu, 7
28040 Madrid, ES

⑲ Inventor/es: **Benítez Giménez, Pablo;**
Miñano Domínguez, Juan Carlos y
Mohedano Arroyo, Rubén

⑳ Agente: **No consta**

㉑ Título: **Lente asférica anaxisimétrica para acoplamiento de cuatro congruencias normales de rayos, dos a dos.**

㉒ Resumen:

Lente asférica anaxisimétrica para acoplamiento de cuatro congruencias normales de rayos, dos a dos. Está compuesta por dos dióptricos asféricos sin simetría de revolución que transforman dos congruencias normales de rayos en otras dos, estando los cuatro haces especificados de partida. Su originalidad estriba en que no existe ninguna invención previa que realice la función que dicha lente desempeña. Un caso particular de especial interés se obtiene cuando la lente transforma dos congruencias asociadas a dos frentes de onda planos en otras dos asociadas a frentes de onda esféricos (ver gráfico).

Son posibles aplicaciones de dicha lente, en combinación con un conjunto de microlentes cilíndricas: las comunicaciones infrarrojas sin hilos a media distancia basadas en el estándar IrDA, los sistemas de iluminación con diodos emisores de luz (LED) con mezclado de colores y sistemas de detección de distancia o de presencia, con emisor IRED y detector fotodiodo o PSD.

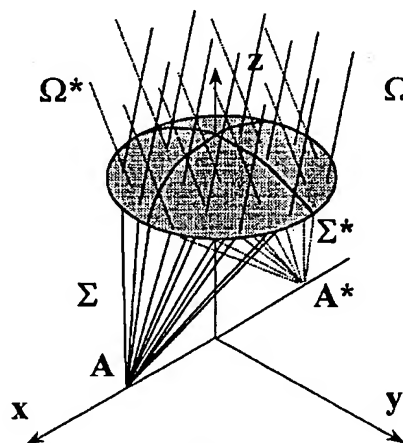


Fig. 1

ES 2 142 752 A1

DESCRIPCION

1. Título

Lente esférica anaxisimétrica para acoplamiento de cuatro congruencias normales de rayos, dos a dos.

2. Sector técnico

Sistemas ópticos.

3. Introducción. Estado de la técnica anterior

El diseño de lentes en la Óptica clásica está típicamente dirigido a las aplicaciones de sistemas de formación de imagen, y emplean como restricción la condición de simetría de revolución. Las soluciones que se obtienen no son adecuadas para muchos problemas de concentración o colimación eficiente, en los que la formación de imagen es innecesaria e incluso inconveniente. La Óptica Anidólica (u óptica no formadora de imagen) es una rama de la Óptica Geométrica que estudia los problemas de transferencia óptima de luz, y que se caracteriza por eliminar la restricción de formación de imagen de entre sus criterios de diseño.

La invención que aquí se presenta consiste en una lente esférica anaxisimétrica compuesta por dos dióptricos esféricos y anaxisimétricos, es decir, que no son esféricos ni poseen simetría de revolución, que transforma dos congruencias normales de rayos Ω y Ω^* (Born, Wolf, 1993) en otras dos Σ y Σ^* , estando los cuatro haces de rayos especificados como datos de partida. La originalidad de la invención se debe a que no existe ninguna invención previa que realice la función desempeñada por dicha lente. Un caso particular de dicha lente se obtiene cuando Ω y Ω^* son dos frentes de onda planos y Σ y Σ^* dos frentes de onda esféricos centrados en sendos puntos A y A* (ver Figura 1). La transformación de frentes de onda que lleva a cabo esta lente particular no puede realizarse con un sistema óptico axisimétrico compuesto por un número finito de superficies ópticas (Welford, Winston, 1979). Otro caso particular se obtiene cuando los cuatro frentes de onda Ω , Ω^* , Σ y Σ^* son esféricos.

El diseño de la lente objeto de la patente se ha realizado extendiendo a geometría 3D el método de diseño anidólico de geometría 2D de las Superficies Múltiples Simultáneas (Miñano, González, 1992).

Referencias citadas:

M. Born, E. Wolf, "Principles of Optics", Pergamon, 6ª edición (corregida), (1993)

W.T. Welford, R. Winston, "On the problem of ideal flux concentrators: Addendum" J. Opt. Soc. Am. 69, 367 (1979)

J.C. Miñano, J.C. González, "New method of design of nonimaging concentrators", Appl. Opt. 31, pp. 3051-3060, (1992)

4. Explicación de la invención

Los contornos de los dos dióptricos que componen la lente esférica anaxisimétrica en cuestión son, en general, dos curvas C_S y C_I distintas. No obstante, el diseño se realiza en dos fases: (a) se calcula una lente inicial cuyos dióptricos tienen como contorno una misma curva $C \equiv C_S \equiv C_I$, y (b) se recorta el borde de dicha lente con el contorno que se desee para obtener la lente final.

Para describir el procedimiento de diseño de

la lente inicial, de contorno C, -fase (a)- consideraremos como ejemplo el caso particular en que la lente transforma dos congruencias normales de rayos asociadas a dos frentes de onda planos Ω y Ω^* en dos frentes de onda esféricos Σ y Σ^* que se enfocan en los puntos A y A*, respectivamente. Otro caso particular de interés se obtiene cuando los cuatro frentes de onda Ω , Ω^* , Σ y Σ^* son esféricos. El diseño de la lente en el caso general se realiza de forma análoga, siguiendo exactamente los mismos pasos, utilizando los cuatro frentes de onda especificados.

En el sistema de referencia cartesiano mostrado en la Figura 2, los puntos A y A* donde se enfocarán los rayos tienen coordenadas respectivas (1,0,0) y (-1,0,0). Se consideran los dos frentes de onda planos Ω y Ω^* normales a los vectores $\underline{V}=(\sin \beta, 0, -\cos \beta)$ y $\underline{V}^*=(-\sin \beta, 0, -\cos \beta)$. Los rayos asociados a Ω y Ω^* , que nombraremos como rayos E y rayos E*, respectivamente, están contenidos en planos $y=\text{cte}$ (ya que su segunda componente es nula) y forman con el eje Z un ángulo $\pm\beta$.

Puesto que la lente enfocará los rayos E en A, la longitud de camino óptico de Ω hasta A será L_C , la misma para todos los rayos, $L(\Omega, \Sigma)$. De forma análoga, $L(\Omega^*, \Sigma^*)$ será la longitud de camino óptico común L_C^* a todos los rayos E*. Además, dada la simetría de los datos del problema respecto a los planos $x=0$ e $y=0$, es interesante forzar que la solución tenga también dicha simetría. Esto implica que $L_C = L_C^*$, es decir, que $L(\Omega, \Sigma) = L(\Omega^*, \Sigma^*) = L_C$.

En primer lugar vamos a calcular la curva C, contorno de los dióptricos esféricos de la lente inicial, aplicando la ecuación $L(\Omega, X) + L(X, \Sigma) = L(\Omega^*, X) + L(X, \Sigma^*) = \text{cte} = L_C$ siendo X un punto de dicha curva C. Esto se expresa como:

$$\sqrt{(x-1)^2 + y^2 + z^2} + (-x \sin \beta - z \cos \beta) = \sqrt{(x+1)^2 + y^2 + z^2} + (-x \sin \beta - z \cos \beta) = L_C \quad (1)$$

Eliminando los radicales en la primera igualdad, se llega a la ecuación:

$$x^2 \sin^2 \beta + (y^2 + z^2) \tan^2 \beta = 1 \quad (2)$$

que es un elipsoide de revolución respecto al eje X, con focos A y A* (ver Figura 2). El semieje mayor es paralelo al eje X, de valor $1/\sin \beta$, siendo $1/\tan \beta$ el radio de la circunferencia intersección con el plano $x=0$. De la segunda igualdad se deduce la ecuación:

$$z = \frac{2}{\sin 2\beta} - \frac{L_C}{\cos \beta} \equiv H \quad (3)$$

que se corresponde con un plano horizontal. La curva C es intersección de (2) y (3), y por tanto es una curva plana, concretamente la elipse contenida en $z=H$ (ver Figura 2) de ecuación:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{(a \cos \beta)^2} = 1 \quad (4)$$

donde "a", el semieje paralelo al eje X, depende de H a través de $a^2 \sin^2 \beta + H^2 \tan^2 \beta = 1$ -es decir,

la ecuación (2) para el punto $(a, 0, H)$. El semieje de la elipse paralelo al eje Y es $b = a \cos \beta$.

Los parámetros de entrada del diseño son: (a) el índice de refracción n de la lente, (b) el ángulo β , y (c) la altura H del contorno C de la lente. Sea R_S la superficie refractiva superior (sobre la que inciden los rayos E y E^*), y R_I la superficie refractiva inferior (de la que emergen los rayos hacia A y A^*). Los pasos a seguir para calcular ambas superficies son:

(1) Tomar un número finito de puntos P_i ($i=1, 2, \dots, N$) de la curva C en el cuadrante $x > 0$, $y \geq 0$. Hallar a partir de H y β la longitud de camino óptico $L_C = L(\Omega, A) = L(\Omega^*, A^*)$ con la ecuación (3).

(2) Calcular los vectores normales a las dos superficies en cada punto P_i . Las normales unitarias N_S y N_I asociadas a cada superficie vienen dadas por el sistema de ecuaciones que se deduce de aplicar las leyes de Snell para los dos rayos E y E^* incidentes en P_i . Dicho sistema de ecuaciones puede resolverse de forma numérica. En ocasiones puede no existir solución (para los parámetros de entrada escogidos), por darse la condición de reflexión total interna en una de las superficies.

(3) Para cada punto P_i se calcula el punto $S_{i0} = P_i + \varepsilon U_i$, siendo U_i el vector unitario perpendicular a C y N_S en P_i con sentido hacia el interior de la lente. El punto S_{i0} es "aproximadamente" un punto de la superficie R_S si la constante ε es suficientemente pequeña. Considerar que la normal en S_{i0} coincide con la normal en P_i .

(4) Calcular el punto I_{i1} , de la superficie R_I con la condición de que el rayo E^* refractado en S_{i0} se refracte nuevamente en I_{i1} hacia A^* . Este cálculo se puede realizar porque se conoce S_{i0} del paso (3) y la longitud de camino óptico L_C entre Ω^* y A^* del paso (1). La normal en I_{i1} puede hallarse por aplicación (inversa) de la ley de Snell.

(5) Calcular el punto S_{i2} de la superficie R_S con la condición de que el rayo que pasa por I_{i1} , y A , antes de refractarse en I_{i1} , provenga del rayo E refractado en S_{i2} . De nuevo este cálculo se basa en que I_{i1} es conocido y la longitud de camino óptico entre Ω y A es L_C . La normal en S_{i2} se calcula de nuevo para que se verifique la ley de Snell.

(6) Repetir los pasos (4) y (5) para calcular, para cada punto P_i del contorno, sucesivos puntos $S_{i,2k}$ y $I_{i,2k+1}$ de las superficies R_S y R_I , que pertenezcan al cuadrante $y \geq 0$, $x > 0$.

Los conjuntos (finitos) de puntos $\{S_{i,2k}\}$ y $\{I_{i,2k+1}\}$ son puntos aislados de las superficies buscadas. En realidad constituyen dos conjuntos (finitos) de curvas C_{2k}^S y C_{2k+1}^I contenidas en las superficies R_S y R_I , que se obtienen aumentando arbitrariamente el número N de puntos P_i -escogido en el paso (1)-. Estas curvas se "tocan" sobre la curva C , como se muestra en la Figura 3. Quedan por calcular, por tanto, los puntos intermedios, situados entre las curvas C_{2k}^S y C_{2k+1}^I .

(7) Para cada punto P_i , interpolar una curva entre los puntos consecutivos S_{i0} y S_{i2} que sea perpendicular a los vectores normales en dichos puntos. Puesto que S_{i0} y S_{i2} son puntos muy próximos con normales; muy parecidas, la curva

interpoladora es prácticamente una recta.

(8) Escoger un número finito de puntos S_{ij} ($j=1, 2, \dots, M$) de la curva interpolada entre S_{i0} y S_{i2} , y repetir M veces los pasos (4) y (5) tomando como punto inicial del proceso el S_{ij} . Así se obtienen los conjuntos de puntos $\{S_{i,2k}^j\}$ y $\{I_{i,2k+1}^j\}$ de las superficies buscadas.

El diseño de la lente de contorno C -y por tanto también la fase (a)- está terminado, puesto que escogiendo M y N suficientemente grandes pueden definirse las superficies con cualquier precisión especificada dentro del cuadrante $x > 0$, $y \geq 0$. De hecho en el paso (8) se han calculado puntos de curvas (que resultan de tomar N muy alto) intermedias entre las mostradas en la Figura 3. En concreto, entre cada pareja de curvas sucesivas, C_{2k}^S y C_{2k+2}^S en la superficie R_S , y C_{2k+1}^I y C_{2k+3}^I en R_I , quedan definidas M curvas $C_{j,2k}^S$ y $C_{j,2k+1}^I$ a las que pertenecen los puntos calculados $\{S_{i,2k}^j\}$ y $\{I_{i,2k+1}^j\}$. La lente completa se obtiene por simetría respecto a los planos $x=0$ e $y=0$.

Las Figuras 4 y 5 muestran una lente inicial diseñada según el procedimiento descrito con parámetros de entrada $n=1.5$, $\beta=\pm 40^\circ$ y $H/AA^*=0.44$. En la Figura 4 aparecen las vistas en planta de las superficies R_S y R_I indicando con diferentes tonos de grises las cotas de las superficies. En la Figura 5 están representadas las secciones de la lente con los planos $x=0$ e $y=0$. Otros datos de la lente son $\varphi=\pm 50^\circ$, $\varphi'=\pm 42^\circ$, $a/AA^*=0.52445$ y $b=0.40175$ (φ y φ' se indican en la Figura 5).

La fase (b) del proceso de diseño consiste en obtener la lente final, que tiene dos curvas distintas C_S y C_I como contornos de los dióptricos R_S y R_I , recortando la lente inicial de contorno C . Un ejemplo de lente final con contorno circular se muestra en la Figura 6.

Las curvas de nivel de las superficies de la lente mostradas en la Figura 4, se asemejan a elipses de la misma excentricidad que la elipse C (cuya relación de semiejes es $b/a = \cos \beta$). Esto sugiere que dicha lente puede aproximarse por una lente con simetría "elíptica", es decir, que la coordenada z de un punto (x, y, z) de R_S o R_I es sólo función de la variable $x^2 + (y/\cos \beta)^2$. El funcionamiento de la aproximación elíptica resulta ser muy satisfactorio, y desde un punto de vista práctico, la simetría elíptica puede facilitar la fabricación de la lente.

Las lentes descritas pueden emplearse en combinación con un conjunto de microlentes cilíndricas, que transformen los dos frentes de onda Ω y Ω^* asociados a dicha lente en uno solo (Λ). En la Figura 7 se muestra un ejemplo de un conjunto plano de microlentes de perfiles rectos que realiza dicha función mediante dos refracciones, cuando los frentes de onda Ω , Ω^* y Λ son planos. Existe un ángulo de inclinación óptimo de los dientes de las microlentes, para el que la transformación de los frentes de onda se realiza de forma perfecta, sin obstrucción de ningún rayo. Dicho ángulo óptimo se obtiene al aplicar la condición de que el rayo R_1 se refracte paralelo a la pared del diente (ver Figura 7), y es solución de la

ecuación $2n \cos^2 \alpha - \cos \alpha - n = 0$ (n es el índice de refracción de la microlente). Para el valor $n=1.5$ resulta ser $\alpha = 26.7^\circ$, y el ángulo de inclinación de los frentes de onda Ω y Ω^* respecto a la vertical es $\pm \arcsen(n \sin \alpha) = \pm 42.4^\circ$. Este ejemplo de conjunto de microlentes es también válido para el caso general en que Ω , Ω^* y Λ no son planos, sin más que escoger el tamaño de las microlentes mucho menor que el radio de curvatura de los frentes de onda.

La Figura 8 muestra otro ejemplo de conjunto plano de microlentes que realiza la misma función de transformación de frentes de onda, en este caso mediante una reflexión total interna y una refracción. También en este caso existe un ángulo de un ángulo de inclinación para Ω y Ω^* de $\pm 60^\circ$. Este ejemplo también es aplicable al caso general (en que Ω , Ω^* y Λ no son planos), de forma análoga que en el ejemplo anterior.

5. Breve descripción de los dibujos

Figura 1: Descripción del funcionamiento de un caso particular de la lente objeto de esta invención. Esta lente particular se caracteriza por enfocar dos frentes de onda planos en dos puntos.

Figura 2: El contorno C de la lente ejemplo inicial es una elipse situada en un plano horizontal y contenida en un elipsoide de revolución con focos A y A^* .

Figura 3: Cuando $N \rightarrow \infty$, el proceso de cálculo de puntos a partir del contorno C genera curvas contenidas en las superficies R_S (izquierda) y R_I (derecha). Parámetros de diseño: $n=1.5$, $\beta=\pm 40^\circ$, $H/AA^*=0.44$.

Figura 4: Intersecciones de la lente ejemplo inicial diseñada ($n=1.5$, $\beta=\pm 40^\circ$, $H/AA^*=0.44$) con los planos (a) $y=0$ y (b) $x=0$.

Figura 5: Vista en planta de las superficies R_S (izquierda) y R_I (derecha) indicando con diferentes tonos de grises las cotas de las superficies. Los cambios de tonalidad se producen a intervalos de $H/20$, siendo H la altura del contorno de la lente ($H/AA^*=0.44$).

Figura 6: La lente ejemplo final se obtiene recortando el borde de la lente ejemplo inicial, de contorno elíptico C con la forma deseada (por ejemplo, circular).

Figura 7: Sección transversal de un conjunto

de microlentes cilíndricas que, mediante dos refracciones, transforman dos frentes de onda planos en uno.

Figura 8: Sección transversal de un conjunto de microlentes cilíndricas que, mediante dos refracciones y una reflexión total interna, transforman dos frentes de onda planos en uno.

6. Realización de la invención

La fabricación de la lente objeto de la invención se puede realizar mediante torneado con herramienta de punta de diamante con control numérico (CNC) sobre material plástico, como por ejemplo PMMA.

7. Aplicación industrial

La invención presentada tiene aplicación directa en diversos campos. En general, puede emplearse como sistema emisor-receptor de luz, al colocarse una fuente emisora (por ejemplo, un diodo emisor de luz visible - LED o infrarojo - IRED) en el centro de curvatura del frente de ondas Σ asociado a la lente (punto A) y un sensor fotosensible como receptor (por ejemplo, un fotodiodo o un PSD) en el centro de curvatura del frente de ondas Σ^* también asociado a la lente (punto A^*). Un ejemplo es el de las comunicaciones infrarrojas sin hilos a media distancia, actuando como elemento óptico secundario de colimación y concentración para los componentes comerciales basados en el estándar IrDA, como el HSDL-1000 de Hewlett Packard o el TFDS-3000 de TEMIC. La utilización de dicha lente en combinación con un conjunto de microlentes cilíndricas (ver Figuras 7 y 8) permite aumentar el alcance de los enlaces de las comunicaciones infrarrojas sin hilos a media distancia basados en el estándar IrDA hasta un factor de 1000. Otro ejemplo campo de aplicación es como detector de presencia o como telémetro. Un último ámbito de aplicación es el de los sistemas de iluminación con diodos emisores de luz (LED). El dispositivo anterior-combinación de la lente descrita y el conjunto de microlentes cilíndricas- permite producir un haz colimado de un solo color mediante la mezcla de la luz emitida por dos LED de distintos colores. Los dos LED deben situarse en los puntos A y A^* , respectivamente.

REIVINDICACIONES

1. Lente esférica anaxisimétrica **caracterizada** por estar compuesta de dos dióptricos esféricos y anaxisimétricos que transforman dos congruencias normales de rayos Ω y Ω^* en otras dos Σ y Σ^* , estando los cuatro haces de rayos especificados como datos de partida.

2. Dióptricos esféricos según reivindicación 1 **caracterizados** por tener contornos coincidentes sobre la curva solución del sistema de ecuaciones: $L(\Omega, X) + L(X, \Sigma) = L(\Omega^*, X) + L(X, \Sigma^*) = \text{cte}$ siendo X un punto de dicha curva.

3. Lente esférica anaxisimétrica según reivindicaciones 1 y 2 **caracterizada** por transformar dos congruencias normales de rayos asociadas a frentes de onda planos Ω y Ω^* en otras dos asociadas a frentes de onda esféricos Σ y Σ^* .

4. Lente esférica anaxisimétrica según reivindicaciones 1 y 2 **caracterizada** porque los cuatro frentes de onda son esféricos.

5. Lente esférica anaxisimétrica según reivindicación 1 a 4 **caracterizada** porque se aproxima a una lente con simetría elíptica.

6. Lente esférica anaxisimétrica, según reivindicaciones 1 a 5, **caracterizada** porque al combinarse con un conjunto de microlentes cilíndricas transforma los dos frentes de onda Ω y Ω^* asociados a dicha lente en un único frente de ondas.

7. Lente esférica anaxisimétrica, según reivindicaciones 1 a 6, **caracterizada** por transformar los dos frentes un solo frente de ondas plano.

8. Lente esférica anaxisimétrica, según reivindicaciones 6 y 7, **caracterizada** por constituir un sistema emisor-receptor de luz, al colocarse una fuente emisora en el centro de curvatura del frente de ondas Σ asociado a la lente (punto A) y un sensor fotosensible en el centro de curvatura del frente de ondas Σ^* también asociado a la lente (punto A*).

9. Lente esférica anaxisimétrica, según reivindicación 8, **caracterizada** porque aumenta el alcance de los enlaces de comunicaciones infrarrojas sin hilos a media distancia basados en el estándar IrDA hasta en un factor 1000.

10. Lente esférica anaxisimétrica, según reivindicación 8, **caracterizada** porque la fuente emisora es un diodo emisor de luz visible (LED) o infrarroja (IRED) y el receptor es un fotodiodo o un PSD.

11. Lente esférica anaxisimétrica, según reivindicaciones 8 y 10, **caracterizada** por aplicarse como detector de presencia.

12. Lente esférica anaxisimétrica, según reivindicaciones 8 y 10, **caracterizada** por aplicarse como telémetro.

13. Lente esférica anaxisimétrica, según reivindicaciones 6 y 7, **caracterizada** por producir un haz colimado de color mediante la mezcla de luz emitida por dos LED de diferentes colores.

14. Diodos emisores de luz, según reivindicación 13, **caracterizados** por situarse en los puntos A y A*, respectivamente.

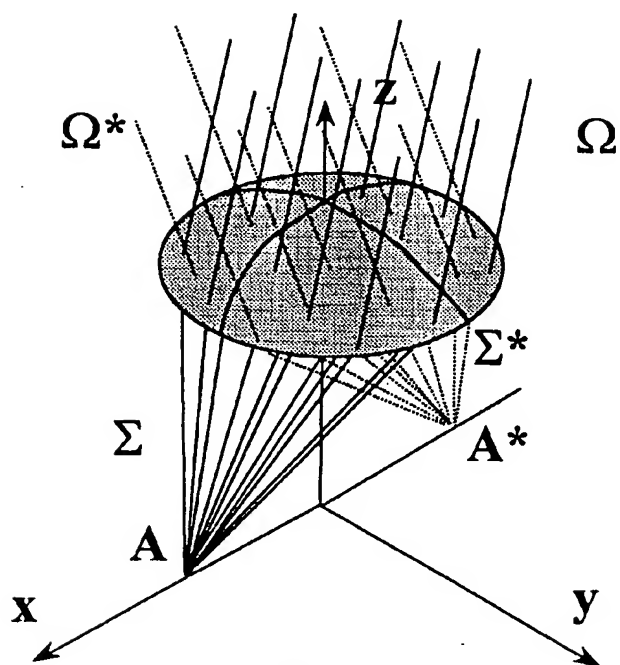


Fig. 1

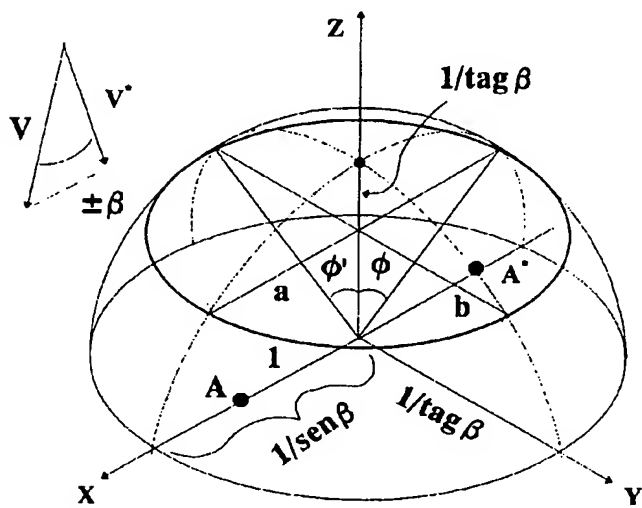


Fig. 2

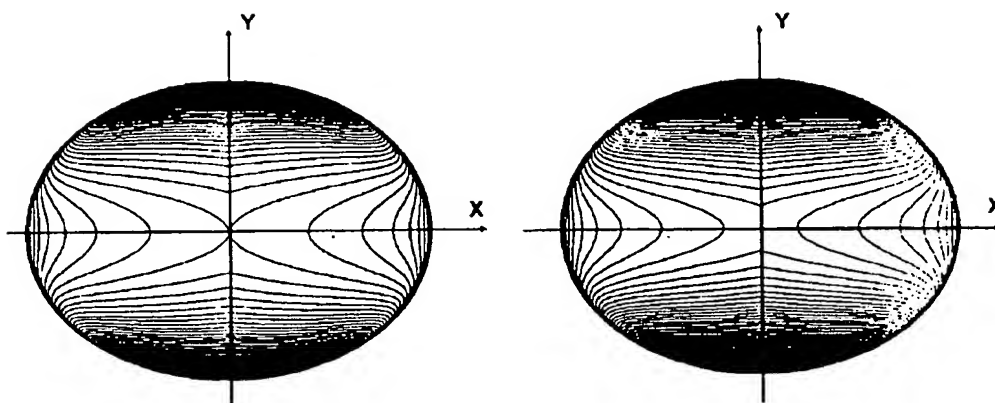
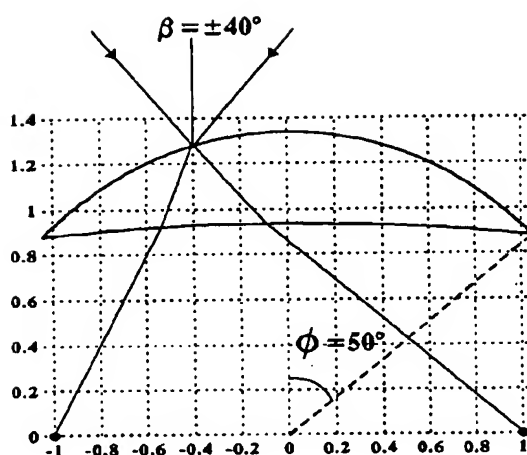
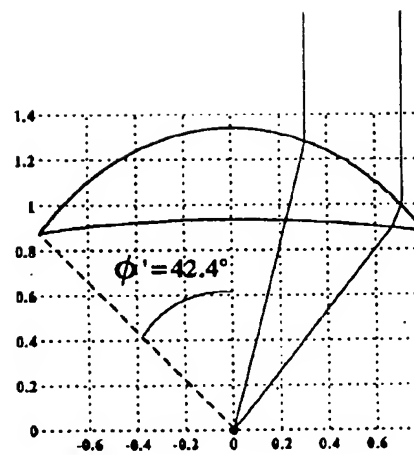


Fig. 3



(a)



(b)

Fig. 4

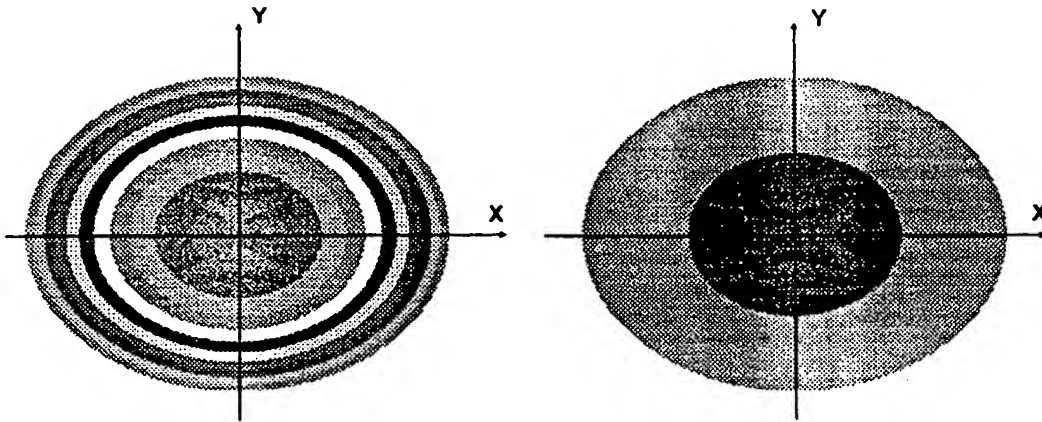


Fig. 5

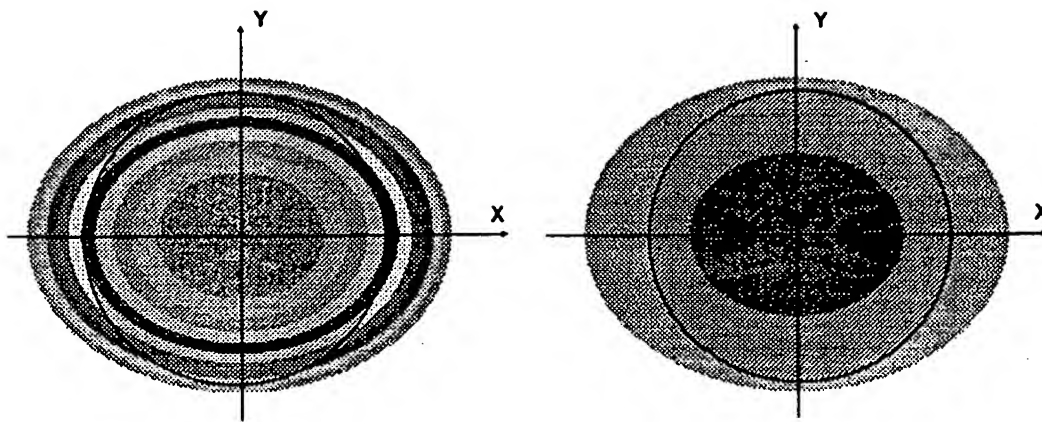


Fig. 6

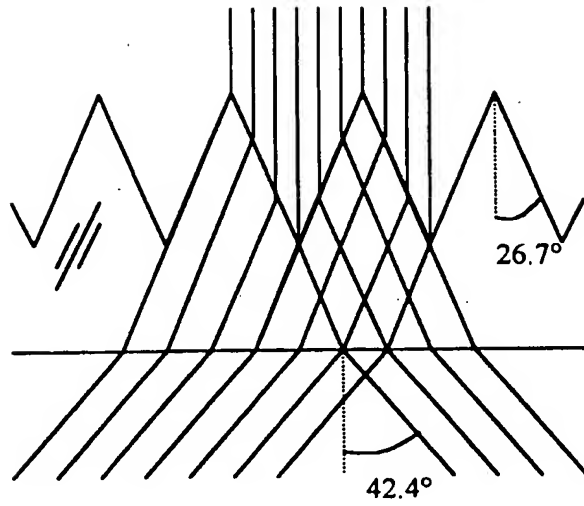


Fig. 7

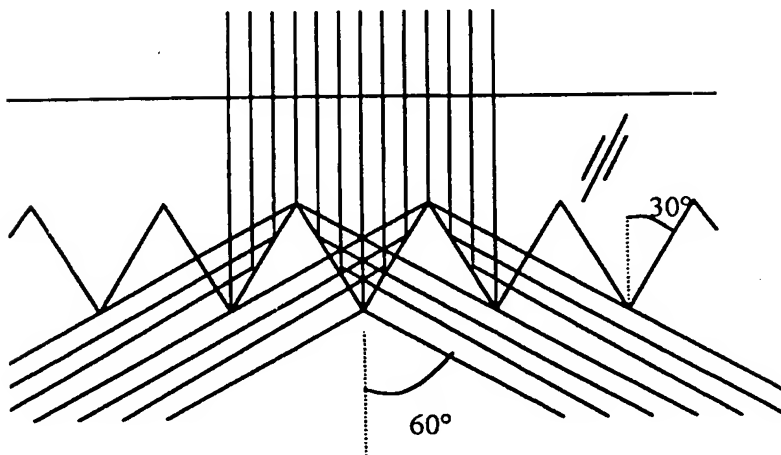


Fig. 8



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

⑪ ES 2 142 752

⑫ N.º solicitud: 009800744

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 07.04.1998

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.⁶: G02B 3/04

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	MIÑANO, J.C. et al. "New Method of design of nonimaging Concentrators". APPLIED OPTICS, Vol. 31, N° 16, 01.06.1992, páginas 3051-3060. Todo el documento.	1-3,10,14
A	BASE DE DATOS WPIL en EPOQUE, semana 9211, Londres Derwent Publications Ltd., AN 1992-087621, SU 1644063 A (PHYSICS INST LEBEDE) 23.04.1991, resumen.	1,9-11
A	EP 284346 A (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION) 28.09.1988	

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones n°:

Fecha de realización del informe
14.03.2000

Examinador
A. Navarro Farell

Página
1/1